

第3章 放射線測定の実施

(1) 測定のタイミング

除染効果確認のための測定時期は、除染前、除染後に実施する。
・ 除染前の測定により、除染の対象場所に汚染がないことが確認できた場合は、除染対象場所を修正することも可能である。
・ 測定対象場所の周辺で除染が継続している場合は、周辺の除染が当該除染後の測定に影響がないことを確認して行うこと。
・ 除染前と除染後は測定の条件を同じにすることが重要である。

【解説】

測定の実施タイミングは、除染作業の進捗状況に応じ、概ね3段階に分けて行う。各測定の実施タイミングは、図3-1のとおりである。

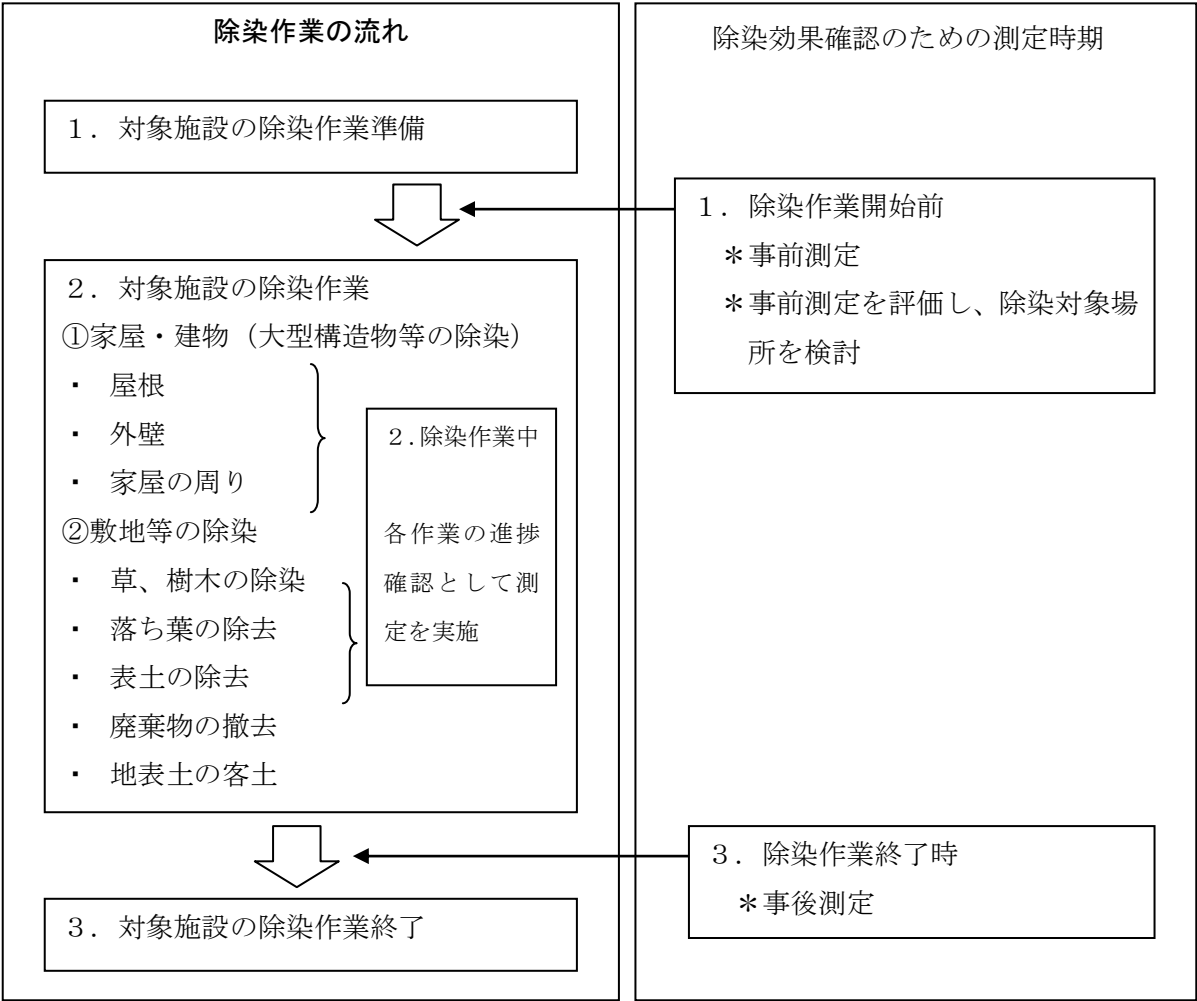


図 3-1 除染作業の流れ

① 除染作業開始前

- ・ 除染作業開始前測定が行われてから、実際の除染作業までの期間はなるべく短いほうが望ましい。なんらかの事情で除染作業が長期間遅れた場合は、一部を再測定して変化を確認することが望ましい。
- ・ 除染効果を確認する測定項目は、1 cm 高さの線量率および表面汚染である。
- ・ 実証試験の例では、建物の壁を GM サーベイメータとアクリル板を用いて測定し、建物の壁に汚染がないことが確認できた。この場合では、建物の壁を除染する必要がないと判断可能である（資料 9 参照）。

② 除染作業中

- ・ 除染作業中の測定は、除染が適切に行われて効果を上げているか、追加の除染が必要か等の評価および判断のためのものであるから、最終的な除染効果確認のためのデータとしては扱わない。
- ・ 除染中に除染効果を確認する場合の測定項目は、1 cm 高さの線量率・表面汚染である。

③ 除染作業終了時

- ・ 除染作業終了後に除染後測定までの期間はなるべく短いほうが望ましい。
ただし、水を用いる除染を行った場合は、原則として十分に乾燥した後に測定する。
- ・ 除染効果を確認する測定項目は、1 cm 高さの線量率および表面汚染である。
測定条件を除染前測定と同じにすることが重要であり、そうでなければ正確な除染効果の確認はできない。
- ・ 除染後に客土等を行う場合は、客土することにより放射性物質が表層に存在しないため、除染効果確認は浸透汚染の評価と同様に NaI シンチレーションサーベイメータを用いて行うべきである。
- ・

(2) 放射線測定の場合

① 共 通

- ・ 測定機器は同一の測定点における除染の前後（除染の期間中）で同一のものをを用いること。
- ・ 測定機器は汚染防止のための措置を施すこと。
- ・ 測定は平坦な面で行うこと。
- ・ 測定機器を使用する際には、取扱説明書に記載された注意事項に従うこと。

② 気象条件等

- ・ 降雨・降雪時や強風時には、原則として測定を行わないこと。
- ・ 除染によって測定地点が濡れている場合は測定を行わないこと。
- ・ 測定機器は使用温度範囲を超える所での測定は原則として行わないこと。
- ・ 測定時には気温・湿度・天候等の気象条件に関する記録を必ず残すこと。

③ 機器の状態（感度・校正）確認

- ・ 使用する測定機器は、年に 1 回以上定期的に校正を行い、要求されている性能を満たすことを確認すること。
- ・ 日常点検として、電池残量、HV、ケーブル・コネクタの破損、スイッチの動作等の点検及び点検場所での測定（動作確認として）を実施すること。

【解説】

① 共通

除染作業における除染効果を確認するために、除染作業開始前と除染作業終了後における空間線量率や除染対象の表面汚染密度等を測定する。使用する測定機器はそれぞれ特性が異なるため、除染作業前後における測定結果の整合性を得るためには、同一の測定点での測定には、基本的に同一形式の測定機器を用いる。また可能であれば同一シリアル No. の測定機器を用いる。

除染現場で測定機器を使用する際には、測定機器本体と検出部をビニール等で覆う（GM サーベイメータの検出面はラップ等の極力薄いもので覆う）等、汚染防止のための措置を施すとともに、空間線量率や表面汚染密度測定する際には検出部は測定対象に平行に、表面より深い位置の汚染を確認する際には検出部は測定対象に垂直にし測定する。なお、測定はくぼみを避け平坦な面で行う。

なお、汚染が浸透する材質の測定は、浸透した場所からのβ線を、GM サーベイメータが正しく測定できないので GM サーベイメータの測定は参考値とする。

また、測定機器を使用する際には以下の点に注意するほか、取扱説明書に記載された注意事項に従う。

- ・ プローブのコネクタの抜き差しは必ず電源を切ってから行う。
- ・ 測定機器を使用しているときに電池を抜かない。
- ・ 湿気の多い所、直射日光の当たる所、高温や低温になる所、ほこりの多い所などでの使用、保管は避ける。保管時には乾燥剤と一緒に梱包する。車中に長時間放置しない。
- ・ 検出器をぶついたり、たたいたり、振動を与えないようにする。
- ・ 電池、AC アダプタは必ず指定のものを使用する。
- ・ 測定機器を長時間使用しないときは電池をすべて取り出し乾燥した場所に保管する。
- ・ 強い電波を放射されると誤計数することがあるため、携帯電話、PHS、トランシーバ等に密着して使用しないように注意する。また、屋外作業においては、その無線基地局他、火花放電を起こしたり、強い電波を放出する装置の近辺で使用する場合は十分注意する。

② 気象条件等

降雨・降雪時には測定値が変動する傾向があるため、可能な限り降雨・降雪時には測定は行わないこと。また強風時には、地表の塵の巻き上がりが起こりうるため測定を中断し、測定値の変動を確認して、変動が収束した後に測定を再開する。

また測定機器はそれぞれ使用温度範囲及び温度特性を持っている。取扱説明書に記載された使用温度範囲を超える高温や低温になる所での測定は極力避けるとともに、測定時には気温・湿度・天候等の気象条件に関する記録を必ず残す。

※：温度依存性の許容範囲

JIS Z 4333：-10～40 ℃ ±20 %

JIS Z 4329：-10～40 ℃ ±20 %

③ 機器の状態（感度・校正）確認

測定機器は、測定環境による検出器の感度変化や電気回路の部品劣化により、指示値が正しい値からずれることがある。このため、定期的に校正して精度を確保することが望ましく、具体的には日本工業規格（JIS）等の校正手法に準拠した校正を年1回以上行い、要求されている性能を満たすことを確認すること。

日常点検として、電池残量、HV、ケーブル・コネクタの破損、スイッチの動作等の点検及びバックグラウンド計数値の測定（バックグラウンドが大きく変化しない同一の場所で行い、過去の値と比較して大きく変化が無いことを確認）を実施し、異常・故障の判断の目安とする。

(3) 具体的測定方法

① 測定ポイントのマーキング

- ・ 測定ポイントは、除染作業前後での測定ポイントが変わらないよう、基点を定める。

② 放射線測定器の選択

- ・ 第2章(1)放射線測定器の選択を参考にし、GM サーベイメータまたは NaI シンチレーションサーベイメータを選択する。

③ 測定

- ・ 時定数 10 秒で測定を行う。
- ・ 測定箇所における指示値の読取開始は、時定数の 3 倍（30 秒）経過後から行う。
- ・ 複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍（30 秒）の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。
- ・ 指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。

a) GM サーベイメータ使用時

- 検出器が汚染されないように注意し、検出面を測定対象に平行にし、1cm の高さで行う。
- コリメータは使用せず、2mm 以上の厚さの亚克力板の有無で 2 回測定し、その差を正味の指示値とする。

b) NaI シンチレーションサーベイメータ使用時

- 検出器が汚染されないように注意し、検出器を測定対象に垂直にし、1cm の高さで行う。
- コリメータを使用する。

【解説】

① 測定ポイントのマーキング

測定ポイントは、除染作業前後での測定ポイントが変わらないよう、基点を定め、それを中心として、測定箇所毎にマーキング等を設けることが必要である。また、マーキング時間が経つに従い、不明確または消えることもあり得るので、その基点から測定ポイント間の座標を事前に測定しておき、その数値を測定ポイントの位置情報として記録することにより特定しておく。

② 放射線測定器の選択

第2章(1)放射線測定器の選択を参考にし、汚染形態が表面汚染の場合は GM サーベイメータを、浸透汚染の場合には NaI シンチレーションサーベイメータを選択する。

③ 測定

a) GM サーベイメータ使用時

測定するには検出面を測定対象に平行にし測定する。

測定時には測定機器が測定対象に触れ汚染されないように注意し、測定対象から検出面までの距離を 1 cmで行う。GM サーベイメータは β 線を測定するため、測定対象からの高さが異なると計測値は有意に違ってくる。また、GM サーベイメータの検出面は破損しやすいため、突起物等に触れないよう注意する。

測定箇所における指示値の読取開始は、検出面を測定対象から 1cm の距離に設置後、時定数の 3 倍経過後（時定数が 10 秒の場合は 30 秒後）から行う。測定器メーカーの取り扱い説明書では時定数 30 秒を用いるように示されているが、実証試験の結果から時定数 10 秒の測定で十分評価可能である（表 3-1 参照）。複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍（30 秒）の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。なお取扱説明書等に環境条件に対する補正係数等の記載がある場合はそれも考慮する。

測定機器の指示値が振り切れる場合はレンジを切り替えて測定し、最大レンジでも振り切れた場合には、そのレンジ最大値以上と読み取るか、他の機種の測定機器を用いて測定する。

測定は、コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出面と測定対象間に 2mm 以上の厚さの亚克力板を置いた測定と、亚克力板を置かない測定を行い、以下の式から正味の指示値を算出する。

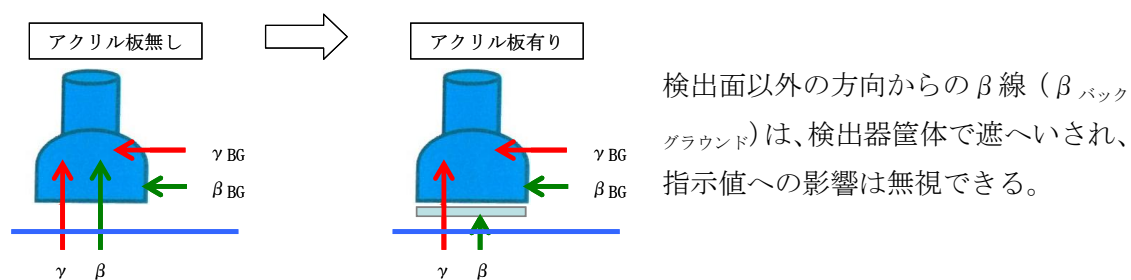


図 3-2 GM サーベイメータの測定

亚克力板無しの指示値	X_1
亚克力板有りの指示値	X_2
正味の指示値	X_0

$$X_0 = X_1 - X_2 \quad \text{が正味の指示値となる。}$$

表 3-1 時定数と標準偏差 (GM サーベイメータ)

時定数	標準偏差
3 秒	22.01
10 秒	11.97
30 秒	15.81

注) 実証試験の結果 (線量率が $0.2 \sim 5.0 \mu\text{Sv/h}$ のレベル)

b) NaI シンチレーションサーベイメータ使用時

測定するには検出器を測定対象に垂直にし測定する。

測定時には測定機器が測定対象に触れ汚染されないように注意し、測定対象から検出器までの距離を 1 cm で行う。ただし、コリメータの使用により測定位置が特定の高さに固定される場合は、その限りではない。

測定箇所における指示値の読取開始は、検出器を測定対象から 1cm の距離に設置後、時定数の 3 倍経過後 (時定数が 10 秒の場合は 30 秒後) から行う。実証試験の結果から時定数 10 秒の測定で十分評価可能である (表 3-2 参照)。複数回指示値を読み取る際には、時定数の 3 倍 (30 秒) の間隔で読み取り、その平均値を指示値とする。指示値に校正定数を乗じた値を測定値とする。なお取扱説明書等に環境条件に対する補正係数等の記載がある場合はそれも考慮する。

測定機器の指示値が振り切れる場合はレンジを切り替えて測定し、最大レンジでも振り切れた場合には、そのレンジ最大値以上と読み取るか、他の機種の測定機器を用いて測定する。

コリメータを使用した際には、指示値は $\mu\text{Sv/h}$ の表示で得られるが、除染効果の比較としてのみ使用し、被ばく線量評価には用いないこと。

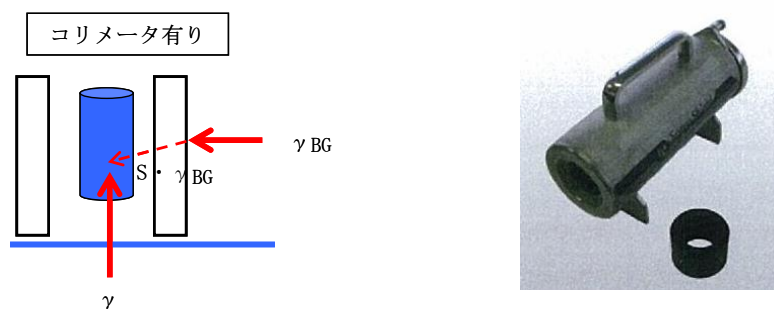


図 3-3 NaI シンチレーションサーベイメータの測定

表 3-2 時定数と標準偏差 (NaI シンチレーションサーベイメータ)

時定数	標準偏差	
	コリメータ有り	コリメータ無し
3 秒	0.03	0.02
10 秒	0.01	0.01
30 秒	0.01	0.01

注) 実証試験の結果 (線量率が $0.2 \sim 5.0 \mu\text{Sv/h}$ のレベル)

(4) 記録の作成

- ① 記録に要求される項目は次の事項である。
 - 除染前後で同じ測定が可能となる情報があること。
 - 測定値の評価をする上での情報があること。
 - 集計の効率化を図るため、表計算ソフト等への入力ができること。
- ② 記録項目
 - 測定日時、天候、気温、湿度
 - 測定者名、使用測定器の種類と識別番号
 - 測定場所（測定場所の略図に測定点を図示、必要に応じて写真記録）
 - 測定値（測定位置：1cm 高さ）、測定面の状態
 - コリメータの有無（コリメータの仕様）
 - 測定の時定数、校正定数
- ③ 有効数字
 - 記録する測定値の有効数字は2桁を推奨する。

【解説】

① 記録に要求される項目（現状と課題）

除染に関する空間線量率や除染対象の表面汚染密度の測定は、ガイドラインや発注仕様書で示されており、その記録項目は一定ではない。評価に必要な最小記録項目の提示が望ましい。

除染関係ガイドラインでは、次のように示されている。

略図等に記載した各測定点、各測定点での空間線量率等
測定日時、用いた測定器

JAEA 除染モデル実証事業では、除染の基礎データを得るために詳細な記録をしており、次の項目が記録されている。

市町村名、測定者名、測定日時、気象（天候、風速、風向き、気温）
区域番号、測定点番号、場所位置（北緯、東経）
土地用途、舗装状況、地表の乾湿
表面汚染密度（GM 管型番、シリアル番号、レンジ、遮へい有無、測定値）
線量率（測定器型式、シンチ型番、シリアル番号、レンジ、遮へい有無、1cm 高さの線量率、空間線量率、地表高）

② 記録項目

除染に関わる測定は、「除染作業開始前（事前測定）」、「作業中測定」、「除染作業終了時（事後測定）」がある。

除染効果を確認するためには、除染作業開始前と除染作業終了時に同じ項目を測定記録して比較することが重要である。

必要な記録項目

測定日時、天候、気温、湿度、測定面の状態（浸透性の有無）

天候、気温、湿度の記録は、 β 線の測定に特に重要である。

測定者名、使用測定器の種類と識別番号

除染前後で同じ測定器を使用するために重要である。

測定場所（測定場所の略図に測定点を図示、必要に応じて写真記録）

測定場所を特定し、除染前後で同じ測定点で測定するために重要である。

測定値（測定位置：1cm 高さ）

測定値と対象面からの距離を記述する。

測定面の状態

測定面の状態は土壌等の性状を記し、浸透性有無の判断に使用する。

コリメータの有無（コリメータの仕様）

除染前後で同じコリメータを使用するために仕様の記述は重要である。

測定値がコリメータを使用しているかを記述する。

GM サーベイメータに使用するアクリル板の仕様を記述する。

測定の時定数

安定した測定を行うために時定数を記述する。

測定器の校正定数

除染前後の測定に同じシリアル番号の測定器が使用できない場合は除染前後の比較において校正定数は有効である。

③ 有効数字

2桁の取り扱いを推奨する。

測定器によってはデジタル表示で3桁、4桁の値が得られる。

測定値のバラつきを考慮すると評価においては有効数字2桁で十分である。

例) GM サーベイメータでデジタル値 2380cpm が得られた場合、評価には 2400cpm (2.4kcpm) で判断して良い。NaI シンチレーションサーベイメータでデジタル値 $2.02 \mu\text{Sv/h}$ が得られた場合、評価では $2.0 \mu\text{Sv/h}$ で判断して良い。

④ 記録用紙の例

放射線測定記録用紙 (GMサーベイメータの例)				
測定時期	除染前 ・ 除染後	測定器型式	GM	
測定者名			シリアル番号	
測定日時	平成 年 月 日 : ~ :	時定数	秒	
		GM用アクリル板	厚み	mm
天候		測定面の状態		
気温、湿度	℃ %	測定の高さ	cm	

測定ポイント	①測定値 (cpm) アクリル板 無	②測定値 (cpm) アクリル板 有	① - ② (cpm) 正味の指示値

測定ポイント図

放射線測定記録用紙 (NaIシンチレーションサーベイメータの例)

測定時期	除染前 ・ 除染後	測定器型式 NaI	
測定者名		シリアル番号	
測定日時	平成 年 月 日	時定数	秒
	: ~ :	校正定数	
天候		コリメータ形式	
気温、湿度	℃ %	測定面の状態	
		測定の高さ	cm

測定ポイント	①測定値 (μSv/h)

測定ポイント	①測定値 (μSv/h)

測定ポイント図

(5) データの信頼性の確認

放射線の測定では測定値に不確かさが発生する。

除染効果の確認のためには測定値に不確かさがあることを理解して評価することが必要である。

不確かさの主な原因は次の項目である。

- ① 測定された値の不確かさ
- ② 放射線量自体のばらつき
- ③ 測定器の特性によるばらつき
- ④ 測定者のヒューマンエラーの可能性

【解説】

放射線を測定する場合には、放射線の特性として測定値にバラツキが生じる。

この測定のばらつきは、特性上除けないものと、単純ミス等のように除けるものがある。

以下に要因毎の特徴を記す。

① 測定された値の不確かさ

- ・ どのような測定でも測定に伴う不確かさ、すなわち誤差がある。この誤差は技術分野や国によって使われ方が異なっており、測定データの信頼性を評価・表現する方法の統一に向けた取り組みが行われた。現在は、ISO から国際文書「Guide to the expression of University in Measurement」（測定に於ける不確かさの表現ガイド、GUM と呼ばれる）が発行され、この中で誤差とは、測定値と真の値との差と定義されている。

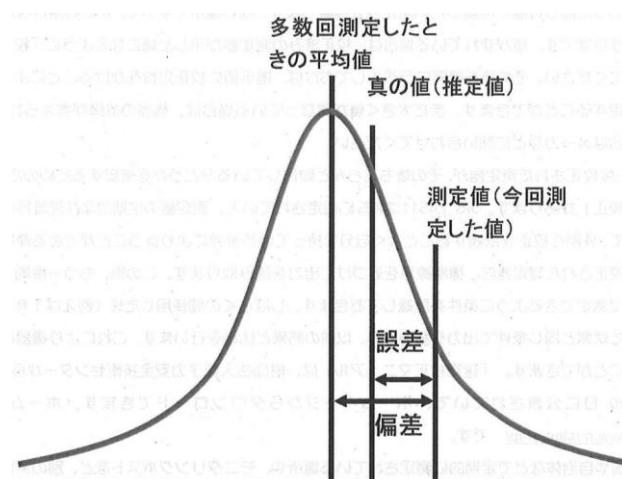


図 3-2 測定値と真の値¹⁰

¹⁰ 益社団法人日本アイソトープ協会 やさしい放射線測定

- ・ 測定をするという行為自体にすでに不確実性が含まれてしまっているから、測定で知りうる値は真の値ではなく、真の値に最も近いであろう推定値であると「GUM」では考えている。測定値はこの推定値の近くでばらついていることになる。このばらつきを表しているのが、「不確かさ」になる（図 3-2 参照）。

② 放射線量自体のばらつき

- ・ 放射線は放射性物質が壊変する際に放出されるが、それらはランダムに発生している。すなわち放射線の強さそのものが、ばらつくことになる。
- ・ また、ガンマ線など透過力の強い放射線は検出部分に入ったとしても一部しか検知されず、放射線を測定するときには、常に値はばらつくと考えておく必要がある。そのために信頼性のある高い値を得るためには、ある時間間隔で何回も測定を繰り返してその平均値を値として求める必要がある。
- ・ 本項と前項への対応として、測定値の不確かさのために時定数の 3 倍を測定時間として、誤差を少なくしている。

③ 測定器の特性によるばらつき

- ・ 放射線量を測定するサーベイメータは、同一機種によるものでも、指示値に差が生じる。出荷前の校正で個々の機種毎に校正定数を定めている。JIS 規格¹¹では許容範囲として 20%以内としているので、この範囲の差が機種ごとにあることになる。
したがって、除染効果確認のために用いる測定器はシリアル番号も含めて、除染前後で同一機種を使用すること推奨する。
- ・ エネルギー特性：測定している放射線のエネルギーによって感度が異なる特性である。環境汚染は対象核種が限定されているのであまり考慮する必要はない。
- ・ 方向特性：同じ線量の場合で測定しても検出器に入ってくる方向によって指示値が変化してしまう特性である。機器によるが数%から 50%と性能が異なる（図 3-4 参照）。測定器の後方は特性が悪いので、ホットスポットを確認する時などには測定する向きが重要になる。

¹¹ JIS Z 4511-2005(照射線量測定器、空気カーマ測定器、空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法)

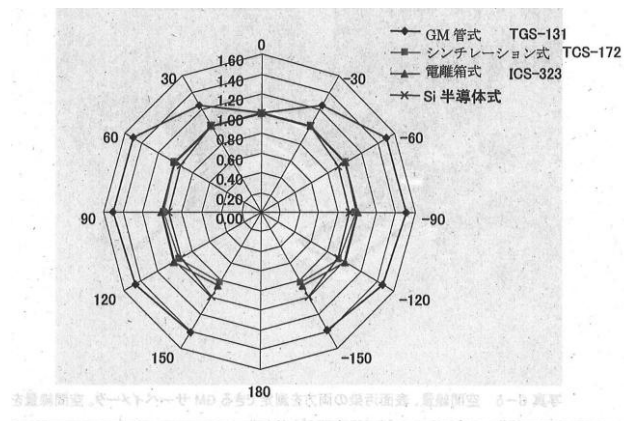


図 3-4 代表的サーベイメータの方向特性

- 参考として川内村実証試験での芝地の除染前後の表面汚染密度および高さ 1cm 位置での線量率の例を図 3-5 および図 3-6 に示す。GM サーベイメータを使用した測定は、ばらつきが NaI シンチレーションサーベイメータのそれより大きい傾向があることがわかる。

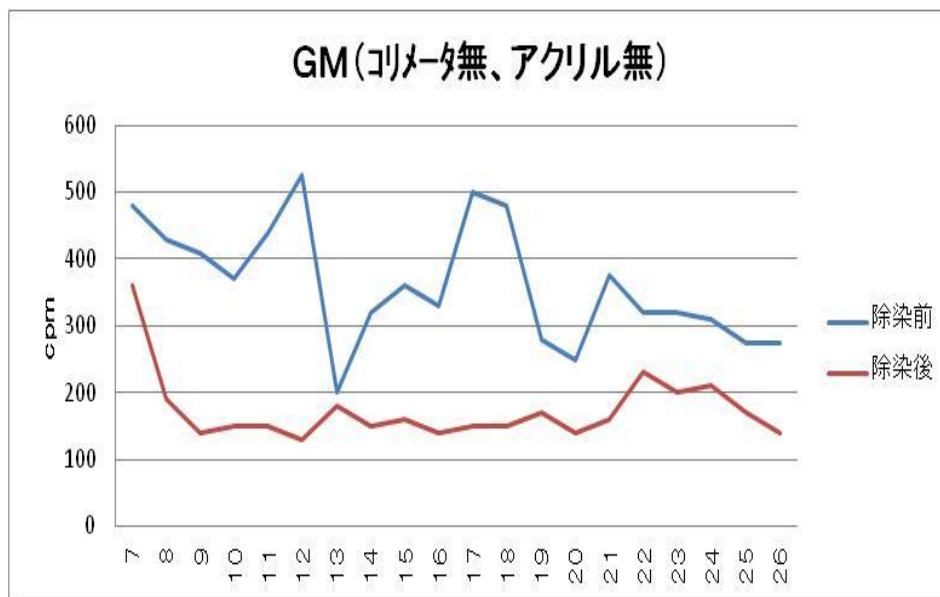


図 3-5 GM サーベイメータ測定例
(川内村 芝地、コリメータ無、アクリル無)

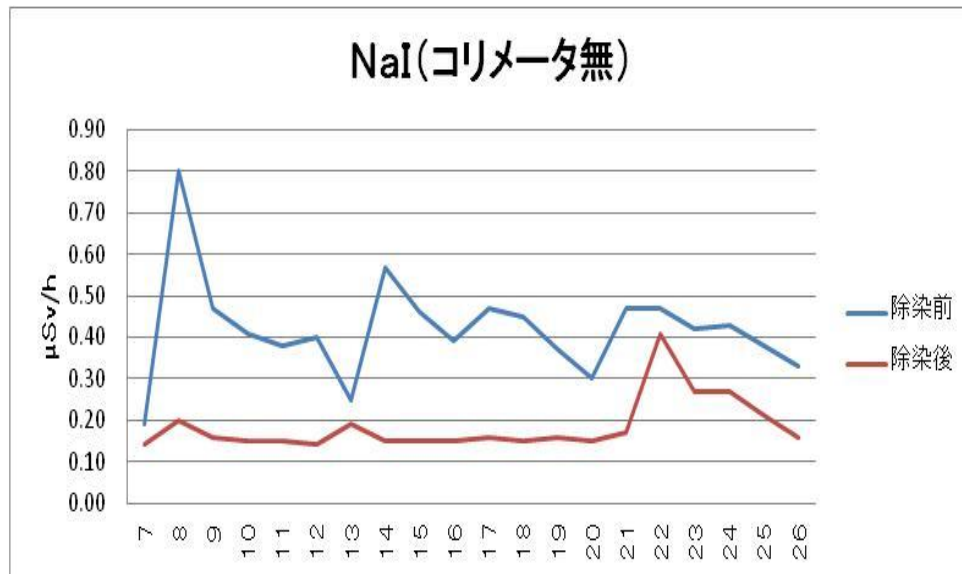


図 3-6 NaI シンチレーションサーベイメータ測定例
(川内村 芝地、コリメータ無)

④ 測定者のヒューマンエラーの可能性

- 正しく使用するためには、取り扱い説明書と本手引書で推奨する方法に沿って測定することが望まれる。

しかし、ヒューマンエラーによりエラー値となってしまうことはある。

ヒューマンエラーとしては、測定位置のずれ、読み取り者による読み取りずれ（特にアナログ表示の機器では読み取り者によってずれがしやすい）、測定条件が異なっていることへの確認ミス（対象面が濡れていたなど）等がある。

- ヒューマンエラーを見つけるには、近い場所の測定値との比較や、除染後の測定時には除染前のデータを持参して現場で比較するなどが有効である。

繰り返し測定し平均値をとることも有効である。

- ヒューマンエラーは測定場所ですぐに見つけることが望ましく、事後に見つかった場合は再測定の負担が大きくなる。